

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **10242565 A**(43) Date of publication of application: **11.09.98**

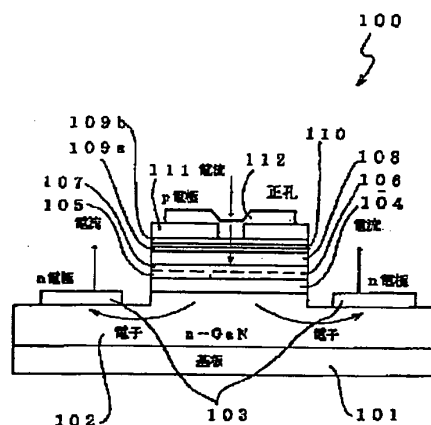
(51) Int. Cl.

H01S 3/18(21) Application number: **09054159**(22) Date of filing: **21.02.97**(71) Applicant: **PIONEER ELECTRON CORP**(72) Inventor: **NISHIZUKA MITSURU
OTA HIROYUKI****(54) SEMICONDUCTOR LASER****(57) Abstract:**

PROBLEM TO BE SOLVED: To improve the photoelectric conversion efficiency of a semiconductor laser by providing a thin layer having a refractive index lower than those of cap layers between the cap layers.

SOLUTION: A layer 110 having a refractive index lower than those of cap layers 109a and 109b are formed between the cap layers 109a and 10b. For example, the refractive index of the layer 110 is adjusted to 2.384 and those of the cap layers 109a and 109b are adjusted to 2.554. Part of the light emitted from a active layer 106 are totally-reflected at the boundaries between the active layer 105 and guide layers 105 and 107 and confined in the active layer 106, but another part of the light leaks to the guide layer 107 and further advances to the cap layer 109a having a higher refractive index than the guide layer 107 has. In this case, it is not necessary to take the other phenomenon than the leakage of the light toward the guide layer 107 into consideration. Since the light leaking to the cap layer 109a causes total reflection at a low angle at the boundary between the layer 109a and the low refractive index layer 110, the quantity of the light leaking to the cap layer 109 is remarkably reduced.

COPYRIGHT: (C)1998,JPO



(11)特許出願公開番号

(43)公開日 平成10年(1998)9月11日

H O 1 S 3/18

(全6頁)

埼玉県鶴ヶ島市富士見6丁目1番1号 バイ
オニア株式会社総合研究所内

【特許請求の範囲】

【請求項1】 電極とクラッド層の間に該クラッド層よりも屈折率の高いキャップ層を備えた半導体レーザにおいて、

前記キャップ層内に少なくともキャップ層よりも屈折率の低い低屈折率の薄層を設けたことを特徴とする半導体レーザ。

【請求項2】 p電極とp型クラッド層の間に該p型クラッド層よりも屈折率の高いキャップ層を備えた半導体レーザにおいて、

前記キャップ層内に少なくともキャップ層よりも屈折率の低い低屈折率の薄層を設けたことを特徴とする半導体レーザ。

【請求項3】 前記薄層は前記キャップ層の積層方向におけるほぼ中間位置に設けられることを特徴とする請求項1又は2に記載の半導体レーザ。

【請求項4】 前記薄層は前記キャップ層内に複数形成されることを特徴とする請求項1～3のいずれかに記載の半導体レーザ。

【請求項5】 前記半導体レーザの積層構造はSCH (Separate Confinement Heterostructure) 構造であることを特徴とする請求項1～4のいずれかに記載の半導体レーザ。

【請求項6】 GaN系の材料から構成されることを特徴とする請求項1～5のいずれかに記載の半導体レーザ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、半導体レーザに関する。

【0002】

【従来の技術】半導体レーザは、光通信や光記録再生等によく用いられており、特に最近の通信の大容量化及び高速化の要求に対しより光電変換効率の良い半導体レーザが要求されている。

【0003】図7は、従来から用いられているMQW-SCH (Multi-Quantum Well Separate Confinement Heterostructure) 構造のGaN系半導体レーザの構成例を示す図である。この構造の半導体レーザは、キャリアと光を別々に閉じ込めることにより、より小さな注入電流によって低いしきい電流で発振するように設計されている。同図において、半導体レーザ700はサファイアからなる基板101上にn型のGaN層102が積層され、GaN層102の両側は同図に示すようにエッチング等により一部を除去され、n電極103がその両側に形成され、図示しない外部駆動回路の負側に接続されている。さらに、GaN層102の中央部上にクラッド層104が積層形成されている。

【0004】クラッド層104上にはガイド層105、活性層106、ガイド層107、クラッド層108、キ

ャップ層709、絶縁層111、p電極112が順次積層されて形成され、p電極112は図示しない外部駆動回路の正側に接続されている。

【0005】上述したような半導体レーザ700に図示しない外部駆動回路から所定の電流がpn接合となるダイオードに通電されると、図に示す矢印の方向に電流が流れ活性層106では電子及び正孔の発光再結合がおこなわれ、紙面に垂直な方向にレーザ光が放射される。放射された光の一部は紙面に垂直でない方向に進み、その一部はガイド層105又は107の方向に進むため、ガイド層105、107を活性層106の屈折率より低い屈折率で構成することによりガイド層105、107に入射する光を全反射により活性層に閉じ込めるように作用する。

【0006】すなわち、屈折率が高い物質から屈折率が低い物質へ光が入射するとその屈折率の比が大きいほど小さな光の入射角で境界面での全反射を生じる。また、キャップ層709では低い抵抗の電極の接触抵抗を得るため、高濃度のp型不純物ドーピングが必要である。高濃度p型ドーピングには、GaAlNよりバンドギャップの小さいGaNの方が望ましい。従って、キャップ層709はGaAlNで構成されるクラッド層108より屈折率の高いGaNで構成されることになる。

【0007】GaN系のMQW-SCH半導体レーザでは、ガイド層、クラッド層、活性層にそれぞれGaN/GaAlN/GaInNを用いており、光は主にGaN/GaAlNの屈折率の差によってガイド層と活性層内に閉じ込められる。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】上述したような構成の半導体レーザでは、クラッド層はガイド層よりも極端に低屈折率の層として形成されて光の閉じ込めを行うが、クラッド層の厚みが十分でないとう光の漏れ出しがある(図8の光強度分布参照)。この漏れた光が金属電極で吸収されると光電変換効率が下がり、レーザ発振のためのしきい電流が増加するという問題がある。よって、クラッド層は十分な厚みを持っていることが望ましいが、これによりコスト高を招くこととなる。

【0009】現状では低屈折率のGaAlN層を、光閉じ込めのために十分な程厚く成膜することが困難であり、p型層での光閉じ込めが不十分な場合、光がガイド層を超えて、キャップ層や金属電極層まで漏れ込むようになる。このような光導波路では導波効率が低下し、レーザ発振のためのしきい電流が増加する。

【0010】また、GaN系半導体レーザ、ZnSe系半導体レーザにおいてはp型クラッド層(GaN系の場合GaAlN層)を厚く成膜すること自体が困難であるため、しきい電流(発光に必要な電流)の増加は避け難い問題となっている。

【0011】なお、この問題点を示す図8の光強度分布

は、図9に示したモデル構造において後述する解析により求めたデータである。本発明は、上記問題を解決しようとするものであり、光電変換効率の良い半導体レーザを提供することを目的とする。

【0012】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するために、本発明の請求項1に記載の半導体レーザは、電極とクラッド層の間に該クラッド層よりも屈折率の高いキャップ層を備えた半導体レーザにおいて、キャップ層内に少なくともキャップ層よりも屈折率の低い低屈折率の薄層を設けたことを特徴とする。

【0013】また、請求項2に記載の半導体レーザは、p電極とp型クラッド層の間に該p型クラッド層よりも屈折率の高いキャップ層を備えた半導体レーザにおいて、キャップ層内に少なくともキャップ層よりも屈折率の低い低屈折率の薄層を設けたことを特徴とする。また、請求項3に記載の発明は、請求項1又は2に記載の半導体レーザであって、薄層はキャップ層の積層方向におけるほぼ中間位置に設けられることを特徴とする。

【0014】また、請求項4に記載の発明は、請求項1～3に記載の半導体レーザであって、薄層はキャップ層内に複数形成されることを特徴とする。また、請求項5に記載の発明は、請求項1～4に記載の半導体レーザであって、半導体レーザの積層構造はSCH構造であることを特徴とする。また、請求項6に記載の発明は、請求項1～5に記載の半導体レーザであって、GaN系の材料から構成されることを特徴とする。

【0015】

【作用】本発明は上述したように、電極とクラッド層の間に該クラッド層よりも屈折率の高いキャップ層を備えた半導体レーザにおいて、キャップ層内に少なくともキャップ層よりも屈折率の低い低屈折率の薄層を設けることにより、光の閉じ込め効率を増加し、結果として光電変換効率の低下を抑制することができる。

【0016】

【発明の実施の形態】本発明の半導体レーザは、キャップ層の一部にキャップ層の屈折率よりも低い屈折率を有する低屈折率層を設けたことを特徴としている。

【0017】図1は、このような構成の半導体レーザの一実施の形態による構造を示す図である。図1において、本発明による半導体レーザ100は、サファイアからなる基板101上にn型のGaNからなるGaN層102が積層され、GaN層102の両側は同図に示すようにエッチング等により一部を除去され、n電極103がその両側に形成され、図示しない外部駆動回路の負側に接続されている。さらに、GaN層102の中央部上にクラッド層104が積層形成されている。

【0018】クラッド層104上にはガイド層105、活性層106、ガイド層107、クラッド層108が形成されている。クラッド層108上にはキャップ層10

9a、低屈折率層110、キャップ層109b、絶縁層111、p電極112が順次積層されて形成され、p電極112は図示しない外部駆動回路の正側に接続されている。

【0019】上述したような半導体レーザ100に図示しない外部駆動回路から所定の電流がpn接合となるダイオードに通電されると、図に示す矢印の方向に電流が流れ活性層106では電子及び正孔の発光再結合がおこなわれ、紙面に垂直な方向にレーザ光が放射される。放射された光の一部は紙面に垂直でない方向に進み、その一部はガイド層105又は107の方向に進むため、ガイド層105、107を活性層106の屈折率より低い屈折率で構成することによりガイド層105、107に入射する光を全反射により活性層に閉じ込めるように作用する。これらの発光作用は従来の半導体レーザの作用と同じである。

【0020】上記低屈折率層110の屈折率はキャップ層109a、109bの屈折率よりも低く、本実施の形態では、例えば低屈折率層110は $\text{Al}_{0.12}\text{Ga}_{0.88}\text{N}$ で構成され、屈折率は2.484であり、キャップ層109a、109bはGaNで構成され、屈折率は2.554である。

【0021】前述したように活性層106で発光された光は、活性層106とガイド層105、107の境界面でも一部全反射されて活性層106内に閉じ込められるが、それでも一部はガイド層107内に漏れ込み、さらにガイド層107より屈折率が高いキャップ層109aに侵入してくる。本実施の形態においては、ガイド層105への漏れ込みは、電極を片側に配置したため、影響が少なくガイド層107の方向への漏れ込みのみに配慮すれば良い。

【0022】キャップ層109aに漏れ込んできた光は低屈折率層110との境界において、少ない入射角で全反射を生じ、キャップ層109bへ漏れ出す光を大幅に低減できることになる。

【0023】次に、半導体レーザで発生したレーザ光に対し半導体レーザから放射されないレーザ光を表す有効損失による解析についての解析モデル及び計算方法について、図2～図6、図8及び図9を参照して説明する。Jakobs等の方法を用い、クラッド層厚みとキャップ層厚みによる活性層内への光の閉じ込め率を表す閉じ込め係数を考慮した有効損失を求める。N層の複素誘電率を持つ光導波路のTEモードは、一般に図6に示す1次元の波動方程式で表すことができる。

【0024】ここで、 k_z は真空中の波数、 x は膜積層方向の座標、 e は複素誘電率、 β は伝搬定数を表す。 $E_y(0) = 0$ 、 $E_y(L) = 0$ として、最も外側の膜の表面で振幅が0となるように境界条件を設定し、有限要素法を用いて数値的に伝搬定数とTEモードの振幅を求める。

【0025】 α_{wg} は金属電極層の導波損失で、レーザ共振器の導波路の伝搬定数 β を用いて、

$$\alpha_{wg} = -2 \operatorname{Im}(\beta)$$

と表される。

【0026】 Γ は活性層への閉じ込め係数、 α_m は共振器ミラーによる損失、 α_i は吸収損失と金属層以外での導波損失を表す。共振器ミラーの反射率を70%、共振器長を1mmとするとミラーによる損失は 3.6 cm^{-1} となる。吸収とガイド層の界面部分での散乱による損失 α_i は $10 \sim 100 \text{ cm}^{-1}$ と予測される。

【0027】図8は、半導体レーザ導波路内の膜積層方向の光強度分布断面図と屈折率分布を示した図である。図8の左側はNiの金属電極層で右側はn型GaIn基板層であり、サファイア基板は屈折率が小さいため、基板層とサファイア基板の境界で光強度が0になるように境界条件を設定してある。図8からわかるように、ほとんどの光はガイド層とMQW活性層に閉じ込められているが、キャップ層とn型基板層にもその一部分が漏れ込んでいる。

【0028】図2～図4は、本発明による半導体レーザのキャップ層厚みとクラッド層厚みに対する有効損失の変化を示す等高線図である。図5は従来の半導体レーザのキャップ層厚みとクラッド層厚みに対する有効損失の変化を示す等高線図である。図2は低屈折率層をキャップ層の厚みの1/4だけクラッド層に近い位置に配置した場合、図3はキャップ層の中心部に配置した場合、図4はキャップ層の厚みの1/4だけ金属電極層に近い位置に配置した場合のそれぞれの上記等高線図を示している。低屈折率層は、 $0.05 \mu\text{m}$ のGa_{0.85}Al_{0.15}Nで構成されている。

【0029】図2～図5のそれぞれの横軸は、クラッド層の厚みを μm で示し、縦軸はキャップ層の厚みを同じく μm で示している。等高線図内に示した数値は、前述した有効損失の内 $\alpha_m + \alpha_i$ を 50 cm^{-1} とした時の有効損失 g_{th} を cm^{-1} で表している。

【0030】これらの有効損失は、閉じ込め係数の低下と金属電極での吸収によって生じ、キャップ層の厚みの変化に伴って周期的に変化している。図2～図5の各有効損失の極大値付近では、2つの導波モードが競合するため光はガイド層から漏れ出し、キャップ層またはn型基板層に大きな強度ピークを持つようになる。このため活性層内の強度ピークは小さくなり、閉じ込め係数が低下し、また、キャップ層内の光強度が大きくなると金属電極層での吸収も大きくなる。

【0031】図5の従来の半導体レーザのグラフでは、同じ厚みのクラッド層を示す縦線上で見れば、キャップ層の厚みがほぼ $0.8 \mu\text{m}$ 及び $1.6 \mu\text{m}$ 付近で極大となり、 $0.4 \mu\text{m}$ 及び $1.3 \mu\text{m}$ 付近で極小となること

ほぼ単調に減少している。

【0032】GaAlNクラッド層を厚くする代わりに、キャップ層中に薄い低屈折率層を入れることで、閉じ込め効率をあげ導波モードの競合を制御することができる。

【0033】図2～図4の本発明の半導体レーザの場合と、図5の従来の半導体レーザの場合を比較すると、キャップ層の厚みが $0.6 \mu\text{m}$ 以下の場合には従来よりも有効損失が低下していることがわかる。また、各等高線図が示すように半導体レーザの構成に適したクラッド層とキャップ層の適切な厚みを求めることが可能である。

【0034】上記説明では電極を片側に配置した半導体レーザで説明したが、活性層を挟んで対向して電極を配置した半導体レーザの場合も、片側又は両側のキャップ層に低屈折率層を介在させることにより、上記したのと同様な効果が得られる。なお、本発明は、上述したMQW-SCH半導体レーザに限らず、SQW (Single Quantum Well) - SCH半導体レーザ、ダブルヘテロ構造の半導体レーザ、GaIn系半導体レーザ、ZnSe系半導体レーザ等にも適用でき、また低屈折率層を複数キャップ層間に配置することもできる。

【0035】以上述べたように、キャップ層に低屈折率層を介在させることによって、有効損失を低下させることができる。この方法を用いることにより、GaAlN、GaInN層の屈折率と膜厚制御の精度を緩和し、半導体レーザの有効損失とその変化を小さくするように設計することが可能になる。

【0036】

【発明の効果】以上の如く、本発明によれば、電極とクラッド層の間に該クラッド層よりも屈折率の高いキャップ層を備えた半導体レーザにおいて、キャップ層内に少なくともキャップ層よりも屈折率の低い低屈折率の薄層を設けることにより、光の閉じ込め効率を増加し、結果として半導体レーザ製造時におけるキャップ層及びクラッド層の厚み及び屈折率の許容範囲を広げ、それらの制御が容易となり、光電変換効率の低下を抑制することができ、しきい電流を低減した光電変換効率の良い半導体レーザを提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明における半導体レーザの構造を示す図である。

【図2】本発明における半導体レーザの特性を示すグラフである。

【図3】本発明における半導体レーザの特性を示すグラフである。

【図4】本発明における半導体レーザの特性を示すグラフである。

【図5】従来の半導体レーザの特性を示すグラフである。

【図6】半導体レーザ素子の解析に用いた一般式を示す

図である。

【図7】従来の半導体レーザの構造を示す図である。

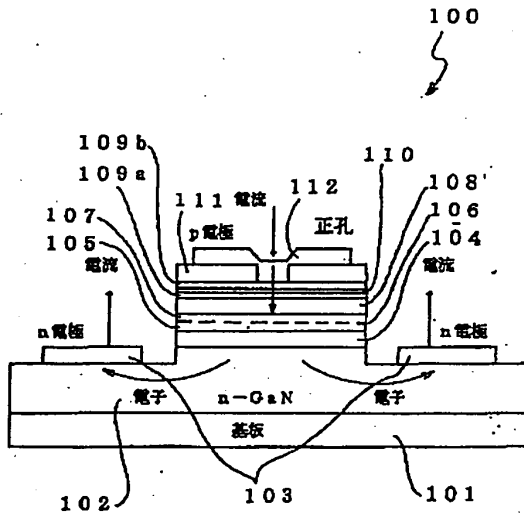
【図8】従来の半導体レーザにおける導波路内の光強度分布と屈折率を示す図である。

【図9】従来の半導体レーザの構成を示す図である。

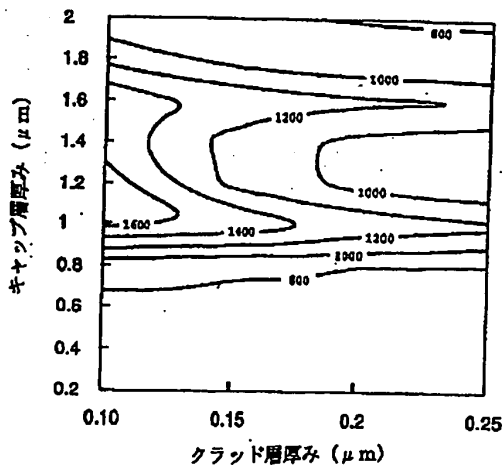
【符号の説明】

100, 700 半導体レーザ
101 基板
102 GaN層

【図1】



【図3】

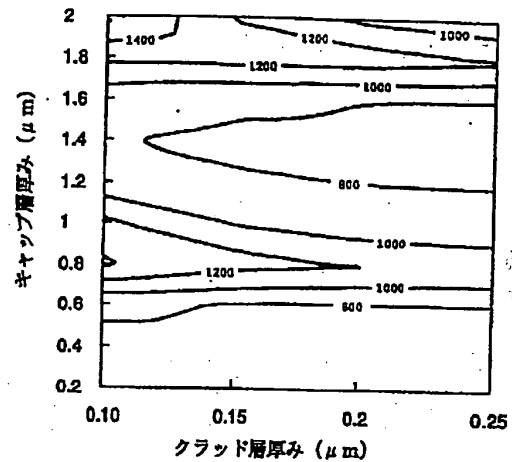


【図6】

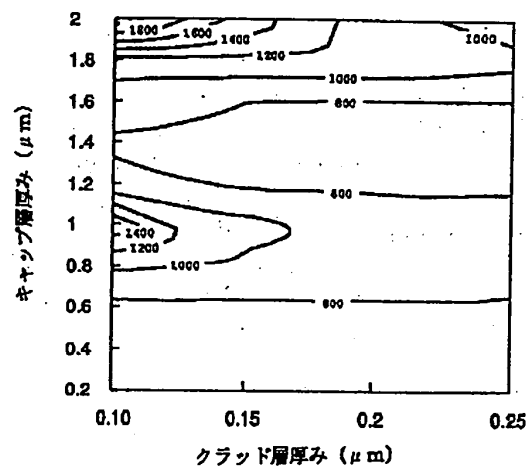
$$\frac{\partial^2 E_y(x)}{\partial x^2} + (k_0^2 \epsilon - \beta^2) E_y(x) = 0$$

103 n電極
104, 108 n-GaNクラッド層
105, 107 ガイド層
106 活性層
109a, 109b, 709 キャップ層
110 低屈折率層
111 絶縁層
112 p電極

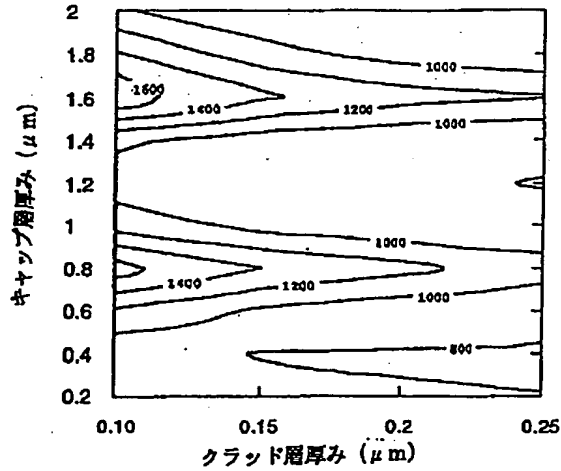
【図2】



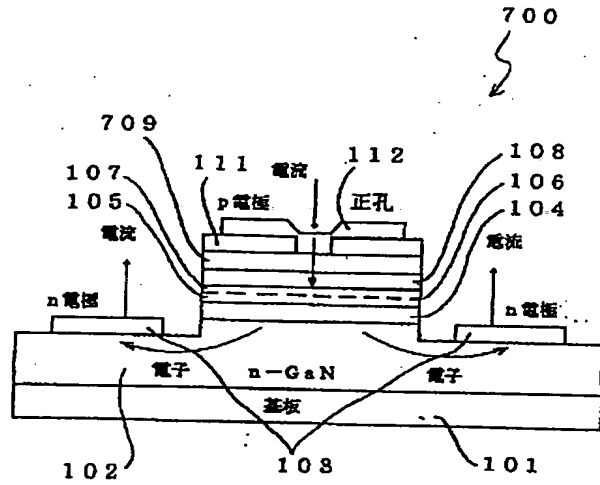
【図4】



【図5】

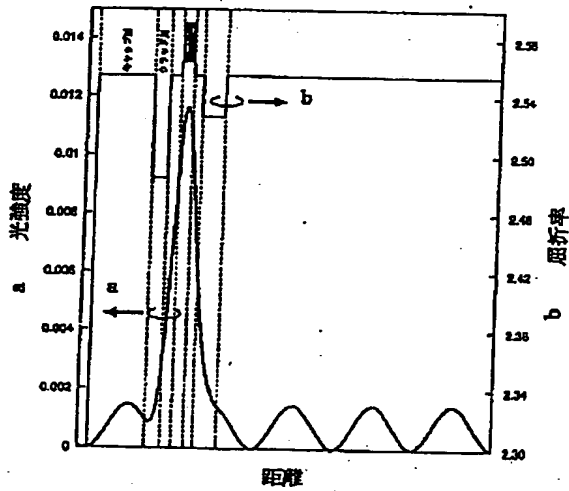


【図7】



【図9】

【図8】



材料	厚み (μm)	屈折率 (λ=380nm)	
p-コンタクト	Ni	0.1	1.73-2.741
キャップ層	GaN	0.2~2.0	2.554
クラッド層	Al _{0.12} Ga _{0.88} N	0.15	2.484
ガイド層	GaN	0.118	2.554
活性層	In _{0.014} Ga _{0.986} N	0.009	2.563
(10繰り返し)	In _{0.04} Ga _{0.96} N	0.004	2.591
ガイド層	GaN	0.1	2.554
クラッド層	Al _{0.12} Ga _{0.88} N	0.24	2.526
基板	GaN	3.0	2.554

MQW-SCHレーザの構造